

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei
Abstract of PhD Thesis

Molekulák ionbombázással kiváltott ionizációja és szétesése
Ion-impact induced molecular ionization and fragmentation

Kovács Sándor

Témavezető / Supervisor :
Dr. Sulik Béla



Debreceni Egyetem
Fizikai Tudományok Doktori Iskolája

University of Debrecen
PhD School in Physics

Debrecen
2017

Készült:

A Debreceni Egyetemi
Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának
Atom- és molekulafizika programja keretében
az MTA Atommagkutató Intézetben

Prepared at

the University of Debrecen
PhD School in Physics,
and the Institute for Nuclear Research,
Hungarian Academy of Sciences

Bevezetés

Az atomfizika az atomok és molekulák szerkezetével és kölcsönhatásaival foglalkozik. Ahhoz, hogy ezeket tanulmányozhassuk, a kísérletekben a vizsgálandó rendszert ki kell billentennünk egyensúlyi helyzetéből, például úgy, hogy ionokkal bombázzuk őket. Az ion-atom és ion-molekula ütközésekben lejátszódó folyamatokról és az ütközési partnerek tulajdonságairól a kilépő töltött részecskék energia és szögeloszlásának mérésével gyűjthetünk információt. Mivel az ilyen ütközésekben az energiaátadás széles tartományban mozoghat, a mérésekben igen összetett spektrumokat kaphatunk. Ezek értelmezése és a különböző folyamatok járulékaiknak azonosítása a kísérleti eredmények elméleti jóslatokkal való összevetésével történik. Az ilyenfajta összehasonlítások lehetővé teszik az elméleti modellek ellenőrzését, illetve azok pontosítására, továbbfejlesztésére ösztönzik a kutatókat.

Dolgozatomban a molekulák ionizációja során emittált elektronok, valamint az emissziót követő fragmentáció során kilépő iontöredékek energia és szögeloszlásának vizsgálatában elért eredményeimet mutatom be. Ismertetem a mérőrendszer és a kiértékelő módszer fejlesztésében végzett munkámat. A mért spektrumokból abszolút fragmentációs és elektronemissziós hatáskeresztmetszeteket határozok meg, és vizsgálom az ütközési rendszertől, azaz a lövedék-paraméterektől és a céltárgytól való függésüket. A mért hatáskeresztmetszeteket egy kvantummechanikai (*folytonos torzított hullámú közelítés - eikonál kezdeti állapotokkal, CDW-EIS*) és egy klasszikus, nem perturbatív (*klasszikus pályájú Monte-Carlo, CTMC*) elméleti modell eredményeivel hasonlítom össze, és azonosítom az ütközésben lezajló folyamatokat. Mindhárom lövedék esetén meghatározom a kapott fragmentációs spektrumokból a céltárgy többszörös ionizációjának abszolút hatáskeresztmetszeteit. Bemutatom a nemzetközi együttműködésben, alacsonyabb bombázó ionenergia tartományban végzett méréseket is, melyekben negatív töltésű ion-fragmentumok keletkezését vizsgáltuk.

A méréseket az Atomkiban és a GANIL intézetben, Franciaországban végeztük. Az Atomkiban található mérési elrendezésben a gáz céltárgyak molekuláit a VdG-5 részecskegyorsítóból érkező MeV energiájú H^+ , He^+ és N^+ ionokkal bombáztuk. Az ütközési zónából kilépő elektronok és kation-fragmentumok energia és szögeloszlását egy, az Atomkiban kifejlesztett kompakt, energia-diszperzív elektrosztatikus spektrométerrel mértük. A spektrumokat a nyalábirányhoz képest 20° és 160° közé eső megfigyelési szögtartományban vettük fel. A GANIL intézetben található hasonló kísérleti elrendezésben az elektrosztatikus spektrométert kiegészítettük mágneses eltérítéssel is. Ennek segítségével szétválasztottuk az elektronokat és negatív ion-fragmentumokat, így az utóbbiak eloszlását alacsony háttér mellett tudtuk vizsgálni.

Dolgozatom felépítése a következő: A második fejezetben áttekintem az atomi és molekuláris ütközésekben lejátszódó főbb folyamatokat, az azokat tárgyaló irodalmat, valamint az ütközési folyamatok leírására szolgáló főbb elméleti módszereket. A harmadik fejezet tartalmazza mérőrendszereink részletes leírását. Az Atomkiban használt kísérleti együttes mellett röviden ismertetem a Franciaországban, a GANIL intézetben használt mérési

elrendezést is. A negyedik fejezetben saját eredményeimet ismertetem, kezdve az általam kifejlesztett gáz céltárgy rendszer bemutatásával. Külön alfejezetekben tárgyalom az ionizációs, és molekula fragmentációs méréseket, és azok eredményeit. A dolgozat tartalmi részét magyar és angol nyelvű összefoglaló zárja.

Eredmények

Doktori értekezésem új tudományos eredményeit a következő tézispontokban foglalom össze:

1. Mérőrendszer: egy széles nyomástartományban működő gáz céltárgy rendszer kifejlesztése

Kifejlesztettem és megépítettem egy gáz céltárgy rendszert, kifejezetten molekula fragmentációs kísérletekhez. Az abszolút hatáskeresztmetszetek meghatározása szempontjából kulcsfontosságú mennyiséget, a céltárgy részecskesűrűségét a megtervezett gázbeeresztő rendszer paramétereit felhasználva az áramlási ellenállásokon keresztül a gázmennyiség áramokból származtattam. Ezzel megkaptam a céltárgy részecskesűrűségét a puffernyomás függvényében. A szokásos eljárásnál, ellenőrzésül egy hatáskeresztmetszet méréseken alapuló kalibrációs módszert is alkalmaztam. A kamrát a mérendő gázzal elárasztva, a kamranyomás és a céltérfogóban uralkodó gáznyomás között határoztam meg közvetlen összefüggést. Így kalibrálni tudtam a puffernyomás és céltárgy részecskesűrűsége közti nemlineáris függvénykapcsolatot. Ez széles részecskesűrűség-tartományban teszi lehetővé abszolút hatáskeresztmetszetek megbízható meghatározását.

A tézispontban leírtakat teljes egészében saját munkámnak, és eredményemnek tartom. A tézispontokhoz a [2], [9], [11] és [O8] közlemények kapcsolódnak.

2. Differenciális abszolút hatáskeresztmetszetek meghatározása

A szög szerint differenciális abszolút hatáskeresztmetszet meghatározása gáznyaláb céltárgy esetén nem nyilvánvaló, mert a gáznyaláb alakja közvetlen mérésekkel nem követhető. Ezért a szög szerint differenciális abszolút hatáskeresztmetszetek meghatározására a releváns paraméterek azonosításán, és azok pontos mérésekkel történő meghatározásán túl, az 1. tézispontban említett elárasztásos módszert is felhasználtam. A megfigyelési szög függvényében mért hozamok differenciális hatáskeresztmetszeteiké konvertálására kidolgoztam és jó eredménnyel alkalmaztam egy korrekciós formulát, mely a homogén, és a hengeres céltárgyakra vonatkozó összefüggések lineáris kombinációján alapul. Ennek egyetlen szabad paraméterét az elárasztásos kontrollmérések segítségével határoztam meg. Az 1 MeV $H^+ + CH_4$ ütközésekben kapott kétszeresen differenciális ionizációs hatáskeresztmetszetek jól egyeznek a

W. E. Wilson és L. H. Toburen [Phys. Rev. A **11**, 1303 (1975)] által mért, referencia adatoknak tekintett hatáskeresztmetszetekkel.

A tézispontban leírtakat teljes egészében saját munkámnak, és eredményemnek tartom. A tézisponthoz a [2], [9], [11] és [O8] közlemények kapcsolódnak.

3. Kis molekulák ionbombázással kiváltott ionizációjának vizsgálata

a) Elektron emissziós hatáskeresztmetszetek kísérleti meghatározása

Víz, metán és nitrogén molekulákat 1 MeV H^+ , 1 MeV He^+ és 650 keV N^+ ion-lövedékekkel bombázva a mért spektrumokból kétszeresen differenciális elektronemissziós hatáskeresztmetszeteket határoztam meg a 20° és 160° közötti megfigyelési szögtartományban. Azonosítottam és elemeztem a különböző ionizációs mechanizmusokból származó járulékokat a különböző ütközési rendszerek esetén. Azt találtam, hogy proton lövedéktől a nitrogén felé haladva a hatáskeresztmetszetek növekednek, és a spektrumok szerkezete is változik. Ezt a perturbáció-erősség növekedésének tulajdonítottam, mely a lövedék effektív töltésének és sebességének hányadosával arányos. Árnyékolt lövedékekre az effektív töltés az iontöltésnél nagyobb lehet, a lövedéksebesség pedig a protontól a nitrogén felé haladva csökken. Erősebb perturbáció esetén a többszörös ionizáció szerepe is megnő. Az árnyékolt lövedékek az ütközésekben maguk is ionizálódnak, a spektrumokban ennek járulékát is azonosítottam.

b) A Wilson és Toburen által bevezetett skálázási szabály kiterjesztése

A különböző céltárgyakra kapott hatáskeresztmetszetek összehasonlításával a Wilson és Toburen által 1963-ban csupán szénhidrogénekre megállapított skálázási szabályt kiterjesztettem a H_2O és N_2 molekulákra is. Azt találtam, hogy a skálázási szabály a lövedék elektron vesztesére (lövedék ionizáció) is érvényes.

c) A mért elektron emissziós hatáskeresztmetszetek összehasonlítása kvantummechanikai és klasszikus számolások eredményeivel

Az a) alpontban felsorolt ütközési rendszereken meghatározott kétszeresen differenciális elektronemissziós hatáskeresztmetszeteket összehasonlítottam CDW-EIS és CTMC elméleti modellek keretében a lövedék és a céltárgy ionizációjára végzett számolások eredményeivel. Mindkét elméleti módszernél olyan fejlesztések történtek, amelyek az ionizációt a molekulapályák szintjén írják le. A CTMC módszer mindhárom lövedék esetén reprodukálja a kísérleti hatáskeresztmetszet értékeket, vagyis a lövedékről és a céltárgyról származó elektronok járulékeinak összegét. A perturbatív CDW-EIS elmélet a H^+ lövedék esetén adja a legjobb egyezést. A CDW-EIS számolások a He^+ lövedékre vonatkozó kísérleti adatokat még viszonylag jól reprodukálják, de N^+ lövedék esetén az eltérés már jelentős. A hatáskeresztmetszetek elektronenergia-függésének összehasonlításával kimutattam a Fermi-féle

gyorsítási mechanizmus megjelenését az N^+ lövedékekkel mért spektrumokban. Nagyobb (200 eV fölötti) elektronenergiákon ennek járuléka meghatározóvá válik.

A 3-as tézispontban szereplő kísérleti eredményeket, értelmezésüket, és elméletekkel való összehasonlításokat saját eredményemnek tekintem. A felhasznált CDW-EIS és CTMC eredményekért köszönettel tartozom Dr. Gulyás László és Dr. Sarkadi László kollégáimnak. A tézispontokhoz a [2], [6] és [E1] publikációk tartoznak.

4. Molekulák többszörös ionizációja és fragmentációja

a) Kis molekulák ionbombázással kiváltott fragmentációjának vizsgálata

Víz és metán molekulákat 1 MeV H^+ , 1 MeV He^+ és 650 keV N^+ ion-lövedékekkel bombázva a 20° és 160° közötti megfigyelési szögtartományban megmértem a töltött molekula-töredékek (fragmentum-ionok) E/q spektrumait, és meghatároztam azok emissziójának kétszeresen differenciális hatáskeresztmetszeteit. A méréseket a Coulomb-robbanásra jellemző (0-100 eV) energiatartományban végeztem. Az irodalmi adatok feldolgozásával összeállítottam a víz és metán molekulák mások által számolt és szelektív módszerekkel mért fragmentációs csatornáinak listáját, azok fontosabb paramétereit. A vízmolekulán mért spektrumokban azonosítottam ezeket az ismert fragmentációs csatornákat és illesztéssel meghatároztam abszolút hozamaikat. A teljes abszolút hozam a proton lövedéktől a nitrogénig körülbelül két nagyságrendnyit növekszik. Ezzel együtt a növekvő perturbáció a nagyobb energiájú H^+ csúcsok, azaz magasabb ionizációs fokhoz tartozó csatornák megjelenését, illetve hozamuk növekedését eredményezi. Mindhárom lövedék esetén a vízmolekula kétszeres ionizációjához tartozó $OH^+ + H^+$ csatorna hozama a legnagyobb. Vízmolekulákra a különböző lövedékek esetén a legnagyobb kinetikus energia-felszabadulással járó csatornák a következők: protonnál a víz háromszoros ionizációjához tartozó $O^{2+} + H^+ + H^0$, hélium ionnál a négyszeres ionizációhoz tartozó $O^{3+} + H^+ + H^0$, nitrogén lövedéknél pedig az ötszörös ionizációhoz tartozó $O^{4+} + H^+ + H^0$ csatorna.

b) A vízmolekula többszörös ionizációjának vizsgálata

A vízmolekula ionizációs foka és a fragmentációs csatornák közti egyértelmű kapcsolatot felhasználva az egyedi fragmentációs csatornák illesztéssel meghatározott hozamaiból többszörös ionizációs hatáskeresztmetszeteket származtattam. Ezeket összehasonlítottam a CDW-EIS és a CTMC számolások eredményeivel. Proton- és héliumion-bombázás esetén a mért hatáskeresztmetszeteket jól közelítik a kvantummechanikai (CDW-EIS) számolások. A klasszikus (CTMC) modell protonbombázás esetén túlbecsüli a többszörös ionizációs hatáskeresztmetszeteket, de kiváló egyezést ad nitrogénion-bombázás esetén egészen a négyszeres ionizációig. Magasabb ionizációs fokok felé haladva az egyezés mindkét elmélet esetén fokozatosan romlik. Ezt annak tulajdonítom, hogy mindkét elméleti közelítés a független

részecske modell keretei között marad, amelyben az elektron-korrelációt nem vesszük figyelembe. Az abszolút hatáskeresztmetszetek szintjén az elméletekből és a fragmentációs spektrumokból származtatott többszörös ionizációs hatáskeresztmetszetek egyezése jónak tekinthető.

A 4-es tézispontban saját munkámnak tekintem a mérésekben való részvételt, a kiértékelési munkát, és az eredmények értelmezését. A CDW-EIS és CTMC eredményekért köszönettel tartozom Dr. Gulyás László, és Dr. Sarkadi László kollégáimnak. A tézisponthoz az [1], [5], [7], [10], [E2], [O1-O4] és [O7] publikációk tartoznak.

5. Negatív hidrogén-ion fragmentumok keletkezése keV energiájú ütközésekben

Nemzetközi együttműködésben vizsgáltuk negatív töltésű molekula-fragmentumok keletkezését keV energiájú ion-molekula ütközésekben. Az OH^+ molekulaion fragmentációjának vizsgálata során azt találtuk, hogy mind a H^+ mind a H^- fragmentumok csúcsai két átfedő csúcsra bonthatók. Vizsgáltuk az átfedő csúcsok kialakításában szerepet játszó lehetséges folyamatokat. A spektrumok elemzéséből kiderült, hogy az összes hidrogén fragmentum $\sim 0,7\%$ -a anionként jelenik meg. Értelmeztük az $\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O}$ ütközésekben kapott kétszeresen differenciális anion-emissziós spektrumokban látható szerkezeteket. Klasszikus szimulációval kimutattuk, hogy az elektrongerjesztések szerepe, illetve a további atomi centrumok hatása az anionok keletkezésében jelentős lehet. Azonosítottuk a tiszta kéttest- és a soktest-kölcsönhatásból származó anion-fragmentumok alkotta struktúrákat.

A tézispontban saját munkámnak tekintem a mérésekben, és az eredmények értelmezésében való részvételt, valamint a spektrumok egy részének kiértékelését. A tézisponthoz a [3], [4], [8], [O5] és [O6] közlemények tartoznak.

Introduction

Atomic physics deals with the structure of atoms and molecules and with their interactions. In order to investigate them, one has to disturb the target for example by bombarding it with swift ions. In ion-atom and ion-molecule collisions the properties of the colliding partners can be investigated by measuring the energy and angular distribution of the emitted charged particles. The energy transfer in these collisions may cover a wide range, and the spectra obtained from the collisions are rich in structures. The interpretation of the experimental results including the identification of the different processes are based on the comparison with theoretical predictions at different levels. The analysis often leads to significant developments of the theoretical models.

In this work I present the results obtained in studying the electron emission and the subsequent molecular fragmentation processes by ion impact. I briefly describe my work in developing the experimental apparatus and the evaluation methods. From the measured electron and ion spectra I determined the absolute fragmentation and electron emission cross sections, and analysed their dependence on the collision systems e. g. the properties of the projectile and target. I compared the experimental cross sections with the results of the quantum-mechanical (*continuum distorted wave – eikonal initial state*, CDW-EIS) and classical (classical trajectory Monte Carlo, CTMC) calculations and identified the different electron emission processes. In addition, from the fragmentation spectra the absolute multiple target ionization cross sections for the three projectiles could be determined. I also present our measurements on negative hydrogen-ion production in low-energy ion-molecule collisions carried out in the frame of an international collaboration.

The measurements were carried out in Atomki and in the GANIL institute, Caen, France. In the Atomki apparatus the jet of the target gases were crossed by MeV energy H^+ , He^+ and N^+ ion beams supplied by the VdG-5 accelerator. The energy and angular distribution of the electrons and cation fragments originating from the collision region were analysed by a compact, energy-dispersive electrostatic spectrometer, designed in Atomki. Spectra were taken in the 20-160° observation angle range relative to the incident ion beam. In the GANIL arrangement both magnetic and electrostatic fields were applied simultaneously. The setup and the electrostatic spectrometer were similar to those used in Atomki. It allowed us to measure the distributions of negative-ion fragments, separating the electrons from the anions.

The chapters of the thesis are as follows: In chapter 2 I briefly review the literature of the basic processes in atomic and molecular collisions, and summarize the fundamental theoretical methods for describing them. Chapter 3 presents the details of the experimental systems in Atomki and in GANIL. Chapter 4 contains my own results. It starts with the description of the gas target system, which I designed for molecule fragmentation experiments. In the following sections I present the performed set of molecular ionization and fragmentation measurements, together with their analysis and the obtained results. Chapter 5 and 6 summarize the thesis in Hungarian and English, respectively.

Results

The results of my thesis is summarized in the following:

1. Experimental apparatus: development of a gas target system applicable in a wide pressure range

I designed and constructed a gas target system specifically for molecule fragmentation experiments. The accurate value of the target gas density is essential for the determination of the absolute cross sections. I calculated the target density from the gas flow parameters and the flow resistances, starting from the geometrical properties of the gas inlet system. With this method I obtained the target gas density as a function of the pressure in the buffer container. Beyond that procedure I also applied another method for the determination of the target gas density. It is based on the measurement of the cross sections at a homogeneous filling of the chamber, in which case the target density can be directly calculated from the measured pressure. By combining the two methods, the non-linear connection between the target density and the buffer pressure as well as the absolute cross sections could be determined in a wide range of the target gas densities.

The results of this point (Refs. [2], [9], [11], [O8]) are based on my own work.

2. Determination of absolute cross sections

The determination of absolute, angle-differential cross sections is not straightforward for effusive gas jet targets, since the shape of the jet can not be measured directly. Thus for the determination of absolute cross sections differential in angle and energy, beyond the determination of the relevant parameters, I utilized the method of homogeneous filling (see statement 1). For converting the measured angular dependent yields to differential cross sections, I developed and successfully applied a correction formula. It is based on the linear combination of an expanded homogeneous and a thin cylindrical target. The obtained expression has only one free parameter, which was determined by reference measurements performed with homogeneous gas density in the experimental chamber. The double-differential ionization cross sections obtained in 1 MeV $\text{H}^+ + \text{CH}_4$ collisions are in good agreement with the reference data [Phys. Rev. A **11**, 1303 (1975)] measured by Wilson and Toburen.

The results of this point (Refs. [2], [9], [11], [O8]) are based on my own work.

3. Study of molecular ionization by ion impact

a) Determination of electron emission cross sections

In the experiments molecular water, methane and nitrogen targets were bombarded with 1 MeV H^+ , 1 MeV He^+ and 650 keV N^+ ion projectiles. Spectra were taken in the observation angle range of 20-160°, and were converted to double-differential electron-emission cross sections. In the spectra measured in different collision systems I identified and analysed the contributions originating from the different electron emission mechanisms. I found that the cross sections are increasing from H^+ to N^+ projectiles. The structure of the spectra are also different for the three projectiles. These findings are attributed to the increasing perturbation which can be characterized by the ratio of the effective charge and velocity of the projectile. For screened projectiles the effective charge can exceed the ionic charge. In addition, the velocity of the projectiles are decreasing from H^+ to N^+ . At higher perturbation strength the role of multiple ionization also increases. For screened projectiles, electrons originating from the bombarding ions also contribute to electron emission. These contributions are identified in the spectra.

b) Generalization of the scaling rule introduced by Wilson and Toburen

By comparing the electron emission cross sections obtained for the different target species the scaling rule of Wilson and Toburen (established earlier only for carbohydrates) were extended to the target molecules of H_2O and N_2 . The scaling rule is found to be valid also for the ionization of the projectile (electron loss).

c) Comparison of the measured electron emission cross sections with the results of quantum-mechanical and classical calculations

The double-differential electron-emission cross sections for water and methane obtained by different projectiles were compared with the results of CDW-EIS and CTMC calculations for both electron loss and target ionization. Both theoretical models were recently improved to describe molecular ionization at the level of molecular orbitals. The sum of the calculated projectile and target ionization calculated by the CTMC method reproduce the measured electron emission spectra for all of our projectiles. The perturbative CDW-EIS method provides a good agreement with the experiments for the H^+ projectile. The agreement is worse for He^+ and pure for N^+ impact. With the analysis of the energy dependence of the electron emission cross sections induced by N^+ projectiles I demonstrated the appearance of the Fermi-shuttle acceleration mechanism in the electron spectra. Above 200 eV electron energy it becomes the dominant electron emission mechanism.

The experiments, the interpretation of the data and their comparison with theoretical models is dominantly my own work. I am thankful for the results of CDW-EIS and CTMC calculations to my colleagues László Gulyás, and László Sarkadi. The point is based on Refs. [2], [6] and [E1].

4. Multiple ionization and fragmentation of small molecules

a) Study of molecule fragmentation by ion impact

The E/q spectra of the fragments originating from the dissociation of H_2O and CH_4 molecules induced by 1 MeV H^+ , 1 MeV He^+ and 650 keV N^+ impact were measured in the 20-160° observation angle range. I performed the measurements in the 0-100 eV fragment energy range, which is typical for the Coulomb-explosion. From the measured spectra I determined absolute double differential fragmentation cross sections. By analyzing the available data in the literature I listed the possible fragmentation channels including their most important properties. These channels were identified in our spectra, and their absolute yields have been determined by a fitting procedure. The total fragmentation cross section is found to be increasing about two orders of magnitude from the H^+ to the N^+ projectile. With the increasing perturbation from H^+ to N^+ , higher energy proton fragments appear sequentially, which belong to higher ionization degrees of the target. I found that the $\text{OH}^+ + \text{H}^+$ channel has far the highest yield for any of the projectiles. The highest observed kinetic energy release (KER) values belong to the $\text{O}^{2+} + \text{H}^+ + \text{H}^0$, $\text{O}^{3+} + \text{H}^+ + \text{H}^0$ and $\text{O}^{4+} + \text{H}^+ + \text{H}^0$ channels for H^+ , He^+ and N^+ impact, respectively. These channels refer to the $q=3, 4$ and 5 ionization degrees of the target molecule, respectively.

b) Multiple ionization of the water molecule

Utilizing the unique connection between the ionization degree of the target and the identified fragmentation channels, I deduced the multiple ionization cross sections of the water molecule from the channel yields. The multiple ionization cross sections for the three different projectiles were compared to those, obtained from the CDW-EIS and CTMC calculations. For H^+ and He^+ impact the experimental multiple ionization cross sections are in good agreement with the CDW-EIS results. Although the classical (CTMC) calculation overestimates the experimental multiple ionization yields in the case of the H^+ projectile, its results practically coincide with those for N^+ impact up to four-fold ionization. In general the agreement between experiment and theory becomes worse as the degree of ionization increases. This behavior is attributed to the fact that both theories are limited within the framework of the independent particle model (IPM), which can not give account for electron-correlations. However, at the level of absolute cross sections the agreement between experimental and theoretical multiple ionization cross sections is satisfactory.

The experiments, the interpretation of the data and their comparison with theoretical models is dominantly my own work. I am thankful for the results of CDW-EIS and CTMC calculations to my colleagues László Gulyás, and László Sarkadi. The point is based on Refs. [1], [5], [7], [10], [E2], [O1-O4] and [O7].

5. Production of anion-fragments in keV energy ion-molecule collisions

In the framework of an international collaboration we investigated the production of negative fragment-ions in keV energy ion-molecule collisions. We observed that H^+ and H^- peaks originating from the dissociation of the OH^+ projectile contain two overlapping peaks, and analyzed the possible contributing processes. We found that $\sim 0.7\%$ of the total hydrogen fragment production emerged as H^- -anions from the collisions. We interpreted the structures in the measured double-differential anion-emission spectra obtained in the collision of $\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O}$. It was demonstrated by classical elastic scattering simulations that the effect of the electronic excitations and the presence of the further atomic center are non-negligible in the anion production. The structures of anion fragments originating from pure two-body and many-body interactions were identified.

A significant part of this research, regarding the measurements, data evaluation and the interpretation of the results is my own work. The point is based on Refs. [3], [4], [8], [O5] and [O6].

Közlemények / Publications

A tézisek alapjául szolgáló SCI közlemények / SCI papers related to the dissertation:

- [1] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, Z. Juhász, L. Sarkadi, L. Gulyás, and B. Sulik, *Dissociative ionization of H_2O molecule induced by medium energy singly charged projectiles*, Beküldés alatt a Phys. Rev. A-hoz.
- [2] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, Z. Juhász, L. Sarkadi, L. Gulyás, and B. Sulik, *Ionization of small molecules, induced by H^+ , He^+ , and N^+ projectiles: Comparison of experiment with quantum and classical calculations*, Phys. Rev. A **94**, 012704 (2016) 2,765²⁰¹⁵.
- [3] J.-Y. Chesnel, Z. Juhász, E. Lattouf, J. A. Tanis, B. A. Huber, E. Bene, **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, A. Méry, J.-C. Pouilly, J. Rangama, and B. Sulik, *Anion emission from water molecules colliding with positive ions: Identification of binary and many-body processes*, Phys. Rev. A **91**, 060701 (2015) 2,765²⁰¹⁵.
- [4] E. Lattouf, Z. Juhász, J.-Y. Chesnel, **S. T. S. Kovács**, E. Bene, P. Herczku, B. A. Huber, A. Méry, J.-C. Pouilly, J. Rangama, B. Sulik, *Formation of anions and cations via a binary-encounter process in $OH^+ + Ar$ collision: the role of dissociative excitation and statistical aspects*, Phys. Rev. A **89**, 062721 (2014) 2,808²⁰¹⁴.

A tézisek alapjául szolgáló közlemények egyéb folyóiratokban / Other papers related to the dissertation:

- [5] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, Z. Juhász, and B. Sulik, *Fragmentation of H_2O molecules induced by singly charged projectiles*, Journal of Physics: Conference Series **635**, 032115 (2015).
- [6] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, L. Sarkadi, L. Gulyás, Z. Juhász, and B. Sulik, *Ion-induced ionization of small molecules: comparison of experiment with quantum and classical calculations*, Journal of Physics: Conference Series **635**, 032088 (2015).
- [7] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, Z. Juhász, B. Sulik, *Fragmentation of CH_4 molecules induced by 46 keV/u N^+ and N_2^+ projectiles*, Journal of Physics: Conference Series **488**, 102017 (2014), (1 oldal).
- [8] Z. Juhász, B. Sulik, **S. T. S. Kovács**, E. Lattouf, J. Rangama, E. Bene, B. Huber, F. Frémont, A. Méry, J.-C. Pouilly, P. Rousseau, P. Herczku, J.-Y. Chesnel, *A collision process responsible for widespread formation of H anions*, Journal of Physics: Conference Series **488**, 102024 (2014), (1 oldal).
- [9] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, L. Gulyás, Z. Juhász, B. Sulik, *Absolute fragmentation cross section measurements of small molecules induced by H^+ and N^+ ion impact*, Acta

Physica Debrecina **XLVIII**, 100 (2014).

- [10] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, Z. Juhász, B. Sulik, *Fragmentation of H_2O and CH_4 induced by 650 keV N^+ projectiles*, Acta Physica Debrecina **XLVII**, 87 (2013).
- [11] **S. T. S. Kovács**, Z. Juhász, P. Herczku, B. Sulik, *A new setup for molecule fragmentation studies and the first results from $H^+ + H_2O$ collisions*, Acta Physica Debrecina **XLVI**, 65 (2012).

Előadások / Talks:

- [E1] **S. T. S. Kovács**, L. Gulyás, P. Herczku, Z. Juhász, B. Sulik, *Ionization of N_2 molecules by 1-MeV H^+ projectile: Search for interference effects in the electron spectra*, Photon and fast Ion induced Processes in Atoms, Molecules and Nanostructures (PIPAMON), Debrecen, Magyarország, 2015. március 24-26.
- [E2] **S. T. S. Kovács**, *Molecule fragmentation experiments in Atomki*, Complexity from quantum systems to emergent behaviour, Physics Lectures 2012, Debrecen, Magyarország, 2012. december 12.

A tézisek alapjául szolgáló egyéb közlemények / Other publications related to the dissertation:

- [O1] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, Z. Juhász, B. Sulik, *Fragmentation of H_2O and CH_4 molecules by the impact of 46 keV/u N^+ and N_2^+ projectiles*, XXIII. International Symposium on Ion Atom Collisions (ISIAC 23), Peking, Kína, 2013. július 19-22. Book of Abstracts, 46. oldal.
- [O2] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, Z. Juhász, B. Sulik, *Fragmentation of H_2O molecules induced by H^+ and N^+ projectiles*, 3rd NANO-IBCT Conference, Boppard, Németország, 2014. október 27-31. Book of Abstracts, 46. oldal.
- [O3] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, L. Gulyás, Z. Juhász, B. Sulik, *Dissociative ionization of CH_4 molecules induced by H^+ and N^+ projectiles*, 6th Conference on Elementary Processes in Atomic Systems (CEPAS 2014), Pozsony, Szlovákia, 2014. július 9-12. Book of Abstracts, 208. oldal.
- [O4] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, Z. Juhász, B. Sulik, *Fragmentation of H_2O molecules induced by 46 keV/u N^+ and N_2^+ projectiles*, 11Th European Conference on Atoms Molecules and Photons (ECAMP 2013), Dánia, Aarhus, 2013. június 24-28. Book of Abstracts, 47. oldal.
- [O5] Z. Juhász, B. Sulik, E. Lattouf, **S. T. S. Kovács**, J. Rangama, E. Bene, B. A. Huber, F. Frémont, A. Méry, J.-C. Pouilly, P. Rousseau, P. Herczku, J.-Y. Chesnel, *A collision process leading to the emission of H^- ions from H-containing molecules*, 2nd NANO-

IBCT Conference, Sopot, Lengyelország, 2013. május 20-24. Book of Abstracts, 83. oldal.

- [O6] J.-Y. Chesnel, Z. Juhász, E. Lattouf, **S. T. S. Kovács**, J. Rangama, E. Bene, B. Huber, F. Frémont, A. Méry, J.-C. Pouilly, P. Rousseau, P. Herczku, B. Sulik, H- formation via a binary encounter process in ion-molecule collisions, XXIII. International Symposium on Ion Atom Collisions (ISIAC 23), Peking, Kína, 2013. július 19-22. Book of Abstracts, 10. oldal.
- [O7] **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, Z. Juhász, B. Sulik, *Fragmentation of H_2O and CH_4 molecules induced by atomic and molecular nitrogen ion projectiles*, 2nd NANO-IBCT Conference, Sopot, Lengyelország, 2013. május 20-24. Book of Abstracts, 85. oldal.
- [O8] P. Herczku, **S. T. S. Kovács**, Z. Juhász, L. L. Horváth, F. Gáll, B. Sulik, *A specific beamline at a 5 MV electrostatic accelerator for studying ion-biomolecule collisions in the energy region of the Bragg peak*, 5th Conference on Elementary Processes in Atomic Systems (CEPAS 2011) Belgrade, Serbia, 2011. június 21 – 25. Book of Abstracts, 80. oldal.

A dolgozatához nem kapcsolódó publikációk / Other publications:

- [N1] L. Sarkadi, P. Herczku, **S. T. S. Kovács**, Á. Kövér, *Multiple ionization of rare gases by hydrogen-atom impact*, Physical Review A **87**, 062705 (2013) 2,991²⁰¹³.
- [N2] P. Herczku, Z. Juhász, **S. T. S. Kovács**, R. Rácz, S. Biri, J. Tóth, B. Sulik, *Guiding of Ar^{7+} ions through a glass microcapillary array*, Nuclear Instruments and Methods B **354**, 71-74 (2015) 1,389²⁰¹⁵.
- [N3] N. Stolterfoht, P. Herczku, Z. Juhász, **S. T. S. Kovács**, R. Rácz, S. Biri, B. Sulik, *Long-term stable transmission of 3-keV Ne^{7+} ions guided through nanocapillaries in polymers*, Nuclear Instruments and Methods B **387**, 96-102 (2016) 1,389²⁰¹⁵.
- [N4] Z. Juhász, **S. T. S. Kovács**, P. Herczku, R. Rácz, S. Biri, I. Rajta, G. A. B. Gál, S. Z. Szilasi, J. Pálkás, B. Sulik, *Guided transmission of 3 keV Ar^{7+} ions through dense polycarbonate nanocapillary arrays: Blocking effect and time dependence of the transmitted neutrals*, Nuclear Instruments and Methods B **279**, 177-181 (2012) 1,266²⁰¹².
- [N5] L. Ábrók, T. Buhr, Á. Kövér, R. Balogh, D. Hatvani, P. Herczku, **S. T. S. Kovács**, S. Ricz, *A method for intensity calibration of an electron spectrometer with multi-angle detection*, Nuclear Instruments and Methods B **369**, 24-28 (2016) 1,389²⁰¹⁵.
- [N6] P. Herczku, Z. Juhász, **S. T. S. Kovács**, S. Biri, R. P. Rácz, B. Sulik, *Guiding of 3 keV Ar^{7+} ions by polycarbonate nanocapillaries and glass microcapillaries*, Acta Physica

Debrecina **XLVI**, 57 (2012).

- [N7] P. Herczku, Z. Juhász, N. Stolterfoht, **S. T. S. Kovács**, R. Rácz, S. Biri, B. Sulik, *Surface conductivity and charge migration on the inner capillary wall*, Acta Physica Debrecina **XLVII**, 67 (2013).

Debrecen, 2017.04.19.



Nyilvántartási szám: DEENK/114/2017.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kovács Sándor T. S.

Neptun kód: UVGE0J

Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola

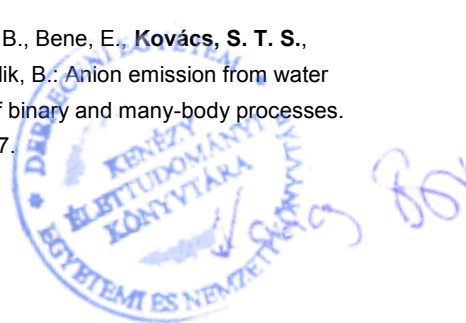
A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

1. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Gulyás, L., Juhász, Z., Sulik, B.: Absolute fragmentation cross section measurements of small molecules induced by H⁺ and N⁺ ion impact.
Acta Phys. Debr. 48, 100-109, 2014. ISSN: 1789-6088.
2. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O and CH₄ induced by 650 keV N⁺ projectiles.
Acta Phys. Debr. 47, 87-94, 2013. ISSN: 1789-6088.
3. **Kovács, S. T. S.**, Juhász, Z., Herczku, P., Sulik, B.: A new setup for molecule fragmentation studies and first results from N⁺ +H₂O collisions.
Acta Phys. Debr. 46, 65-73, 2012. ISSN: 1789-6088.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

4. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sarkadi, L., Gulyás, L., Sulik, B.: Ionization of small molecules induced by H⁺, He⁺, and N⁺ projectiles: comparison of experiment with quantum and classical calculations.
Phys. Rev. A. 94 (1), 012703, 2016. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.94.012704>
IF: 2.765 (2015)
5. Chesnel, J. Y., Juhász, Z., Lattouf, E., Tanis, J. A., Huber, B., Bene, E., **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Méry, A., Pouilly, J. C., Rangama, J., Sulik, B.: Anion emission from water molecules colliding with positive ions: Identification of binary and many-body processes.
Phys. Rev. A. 91 (6), 060701, 2015. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.91.060701>
IF: 2.765





6. Lattouf, E., Juhász, Z., Chesnel, J. Y., **Kovács, S. T. S.**, Bene, E., Herczku, P., Huber, B., Méry, A., Pouilly, J. C., Rangama, J., Sulik, B.: Formation of anions and cations via a binary-encounter process in $\text{OH}^+ + \text{Ar}$ collisions: The role of dissociative excitation and statistical aspects.
Phys. Rev. A. 89 (6), 062721, 2014. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.89.062721>
IF: 2.808

Egyéb folyóiratközlemények (4)

7. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H_2O molecules induced by singly charged projectiles.
J. Phys. Conf. Ser. 635 (3), 032115, 2015. ISSN: 1742-6588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/635/3/032115>
8. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Sarkadi, L., Gulyás, L., Juhász, Z., Sulik, B.: Ion-induced ionization of small molecules: comparison of experiment with quantum and classical calculations.
J. Phys. Conf. Ser. 635 (3), 032088, 2015. ISSN: 1742-6588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/635/3/032088>
9. Juhász, Z., Sulik, B., **Kovács, S. T. S.**, Lattouf, E., Rangama, J., Bene, E., Huber, B., Frémont, F., Méry, A., Pouilly, J. C., Rousseau, P., Herczku, P., Chesnel, J. Y.: A collision process responsible for widespread formation of H^- anions.
J. Phys. Conf. Ser. 488 (10), 102024, 2014. ISSN: 1742-6588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/488/10/102024>
10. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of CH_4 molecules induced by 46 keV/u N^+ and N^{2+} projectiles.
J. Phys. Conf. Ser. 488 (10), 102017, 2014. ISSN: 1742-6588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/488/10/102017>

További közlemények

Idegen nyelvű közlemények hazai folyóiratban (2)

11. Herczku, P., Juhász, Z., Stolterfoht, N., **Kovács, S. T. S.**, Rácz, R., Biri, S., Sulik, B.: Surface conductivity and charge migration on the inner capillary wall.
Acta Phys. Debr. 47, 67-75, 2013. ISSN: 1789-6088.
12. Herczku, P., Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Biri, S., Rácz, R. P., Sulik, B.: Guiding of 3 KEV Ar^{7+} ions by polycarbonate nanocapillaries and glass microcapillaries.
Acta Phys. Debr. 46, 57-64, 2012. ISSN: 1789-6088.

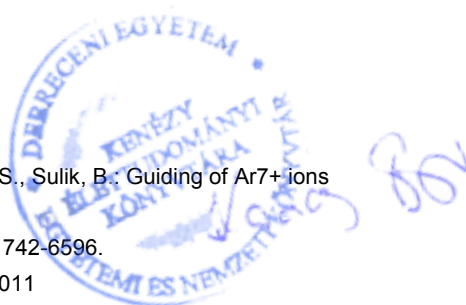


Idegen nyelvű közlemények külföldi folyóiratban (5)

13. Ábrók, L., Buhr, T., Kövér, Á., Balog, R., Hatvani, D., Herczku, P., **Kovács, S. T. S.**, Ricz, S.: A method for intensity calibration of an electron spectrometer with multi-angle detection. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 369, 24-28, 2016. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2015.10.037>
IF: 1.389 (2015)
14. Stolterfoht, N., Herczku, P., Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Rácz, R., Biri, S., Sulik, B.: Long-term stable transmission of 3-keV Ne⁷⁺ ions guided through nanocapillaries in polymers. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 387, 96-102, 2016. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2016.10.010>
IF: 1.389 (2015)
15. Herczku, P., Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Rácz, R., Biri, S., Tóth, J., Sulik, B.: Guiding of Ar⁷⁺ ions through a glass microcapillary array. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 354, 71-74, 2015. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2014.11.004>
IF: 1.389
16. Sarkadi, L., Herczku, P., **Kovács, S. T. S.**, Kövér, Á.: Multiple ionization of rare gases by hydrogen-atom impact. *Phys. Rev. A.* 87 (6), 062705, 2013. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.87.062705>
IF: 2.991
17. Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Rácz, R., Biri, S., Rajta, I., Gál, G. A. B., Szilasi, S. Z., Pálinkás, J., Sulik, B.: Guided transmission of 3keV Ar⁷⁺ ions through dense polycarbonate nanocapillary arrays: Blocking effect and time dependence of the transmitted neutrals. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 279, 177-181, 2012. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2011.10.051>
IF: 1.266

Egyéb folyóiratközlemények (2)

18. Herczku, P., Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Rácz, R., Biri, S., Sulik, B.: Guiding of Ar⁷⁺ ions through a glass microcapillary array. *J. Phys. Conf. Ser.* 488 (13), 132011, 2014. EISSN: 1742-6596.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/488/13/132011>

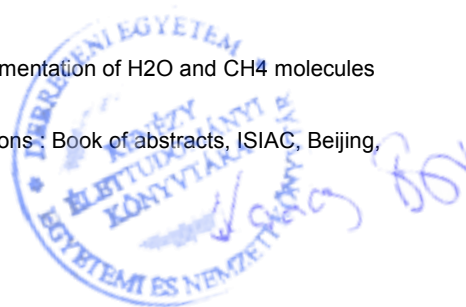




19. Sarkadi, L., Gulyás, L., Herczku, P., **Kovács, S. T. S.**, Kövér, Á.: Single and multiple ionization of rare gases by H⁰ impact.
J. Phys. Conf. Ser. 488 (9), 092002, 2014. EISSN: 1742-6596.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/488/9/092002>

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (8)

20. **Kovács, S. T. S.**, Gulyás, L., Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Ionization of N₂ molecules by 1-MeV H⁺ projectile: Search for interference effects in the electron spectra.
In: International Workshop on Photon and fast Ion induced Processes in Atoms, MOlecules and Nanostructures PIPAMON : Program and Abstracts. Eds.: László Kövér, Zoltán Juhász, Erika Bene, Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Science (MTA Atomki), Debrecen, 38, 2015.
21. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Gulyás, L., Juhász, Z., Sulik, B.: Dissociative ionization of CH₄ molecules induced by H⁺ and N⁺ projectiles.
In: 6th Conference on Elementary Processes in Atomic Systems : Contributed paper. Ed.: Štefan Matejčík, Peter Papp, Ondrej Bogár, Comenius University, Bratislava, 208, 2014.
ISBN: 9788081470219
22. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O molecules induced by H⁺ and N⁺ projectiles.
In: Book of Abstracts : 3rd Conference "Radiation Damage of Biomolecular Systems: Nanoscale Insights into Ion-Beam Cancer Therapy" (Nano-IBCT Conference 2014), October 27-31, 2014, Boppard am Rhein, Germany. Ed.: A. V. Solov'yov, Nano-IBCT Conference, Boppard am Rhein, 46, 2014.
23. Juhász, Z., Sulik, B., Lattouf, E., **Kovács, S. T. S.**, Rangama, J., Bene, E., Huber, B., Frémont, F., Méry, A., Pouilly, J. C., Rousseau, P., Herczku, P., Chesnel, J. Y.: A collision process leading to the emission of H⁻ ions from H-containing molecules.
In: Radiation Damage in Biomolecular Systems : Nanoscale Insights into Ion-Beam Cancer Therapy : 2nd NANO-IBCT Conference 2013 Training and Rehabilitation Center Gdansk University of Technology Sopot, Poland 20-24 May, 2013 : Book of abstracts, NANO-IBCT, Sopot, 83, 2013.
24. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O and CH₄ molecules by the impact of 46 keV/u N⁺ and N₂⁺ projectiles.
In: 23rd International Symposium on Ion Atom Collisions : Book of abstracts, ISIAC, Beijing, 46, 2013.





25. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O and CH₄ molecules induced by atomic and molecular nitrogen ion projectiles.
In: Radiation Damage in Biomolecular Systems : Nanoscale Insights into Ion-Beam Cancer Therapy : 2nd NANO-IBCT Conference 2013 Training and Rehabilitation Center Gdansk University of Technology Sopot, Poland 20-24 May, 2013 : Book of abstracts, NANO-IBCT, Sopot, 85, 2013.
26. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O molecules induced by 46 keV/u N⁺ and N₂⁺ projectiles.
In: 11th European Conference on Atoms Molecules and Photons : Book of abstracts, ECAMP, Aarhus, 47, 2013.
27. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Horváth, L. L., Gáll, F., Sulik, B.: A specific beamline at a 5 MV electrostatic accelerator for studying ion-biomolecule collisions in the energy region of the Bragg peak.
In: 5th Conference on Elementary Processes in Atomic Systems : Contributed papers and abstracts of invited lectures. Ed.: Aleksandar R. Milosavljević, Saša Dujko, Bratislav P. Marinković, Institute of Physics, Belgrade, 80, 2011. ISBN: 9788682441328

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 16,762

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 8,338

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.04.26.





Registry number:
Subject:

DEENK/114/2017.PL
PhD Publikációs Lista

Candidate: Sándor T. S. Kovács

Neptun ID: UVGE0J

Doctoral School: Doctoral School of Physics

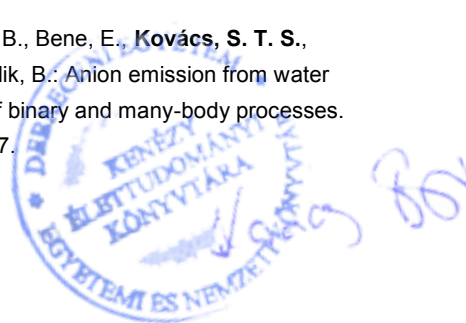
List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (3)

1. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Gulyás, L., Juhász, Z., Sulik, B.: Absolute fragmentation cross section measurements of small molecules induced by H⁺ and N⁺ ion impact.
Acta Phys. Debr. 48, 100-109, 2014. ISSN: 1789-6088.
2. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O and CH₄ induced by 650 keV N⁺ projectiles.
Acta Phys. Debr. 47, 87-94, 2013. ISSN: 1789-6088.
3. **Kovács, S. T. S.**, Juhász, Z., Herczku, P., Sulik, B.: A new setup for molecule fragmentation studies and first results from N⁺ +H₂O collisions.
Acta Phys. Debr. 46, 65-73, 2012. ISSN: 1789-6088.

Foreign language scientific articles in international journals (3)

4. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sarkadi, L., Gulyás, L., Sulik, B.: Ionization of small molecules induced by H⁺, He⁺, and N⁺ projectiles: comparison of experiment with quantum and classical calculations.
Phys. Rev. A. 94 (1), 012703, 2016. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.94.012704>
IF: 2.765 (2015)
5. Chesnel, J. Y., Juhász, Z., Lattouf, E., Tanis, J. A., Huber, B., Bene, E., **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Méry, A., Pouilly, J. C., Rangama, J., Sulik, B.: Anion emission from water molecules colliding with positive ions: Identification of binary and many-body processes.
Phys. Rev. A. 91 (6), 060701, 2015. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.91.060701>
IF: 2.765





6. Lattouf, E., Juhász, Z., Chesnel, J. Y., **Kovács, S. T. S.**, Bene, E., Herczku, P., Huber, B., Méry, A., Pouilly, J. C., Rangama, J., Sulik, B.: Formation of anions and cations via a binary-encounter process in $\text{OH}^+ + \text{Ar}$ collisions: The role of dissociative excitation and statistical aspects.
Phys. Rev. A. 89 (6), 062721, 2014. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.89.062721>
IF: 2.808

Other journal articles (4)

7. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H_2O molecules induced by singly charged projectiles.
J. Phys. Conf. Ser. 635 (3), 032115, 2015. ISSN: 1742-6588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/635/3/032115>
8. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Sarkadi, L., Gulyás, L., Juhász, Z., Sulik, B.: Ion-induced ionization of small molecules: comparison of experiment with quantum and classical calculations.
J. Phys. Conf. Ser. 635 (3), 032088, 2015. ISSN: 1742-6588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/635/3/032088>
9. Juhász, Z., Sulik, B., **Kovács, S. T. S.**, Lattouf, E., Rangama, J., Bene, E., Huber, B., Frémont, F., Méry, A., Pouilly, J. C., Rousseau, P., Herczku, P., Chesnel, J. Y.: A collision process responsible for widespread formation of H^- anions.
J. Phys. Conf. Ser. 488 (10), 102024, 2014. ISSN: 1742-6588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/488/10/102024>
10. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of CH_4 molecules induced by 46 keV/u N^+ and N^{2+} projectiles.
J. Phys. Conf. Ser. 488 (10), 102017, 2014. ISSN: 1742-6588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/488/10/102017>

List of other publications

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (2)

11. Herczku, P., Juhász, Z., Stolterfoht, N., **Kovács, S. T. S.**, Rácz, R., Biri, S., Sulik, B.: Surface conductivity and charge migration on the inner capillary wall.
Acta Phys. Debr. 47, 67-75, 2013. ISSN: 1789-6088.
12. Herczku, P., Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Biri, S., Rácz, R. P., Sulik, B.: Guiding of 3 KEV Ar^{7+} ions by polycarbonate nanocapillaries and glass microcapillaries.
Acta Phys. Debr. 46, 57-64, 2012. ISSN: 1789-6088.

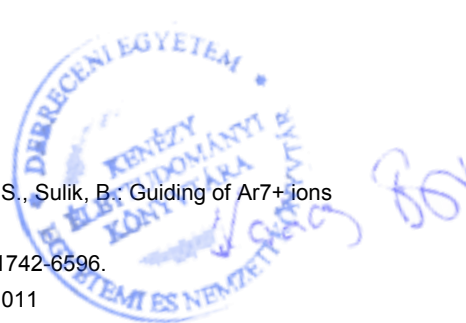


Foreign language scientific articles in international journals (5)

13. Ábrók, L., Buhr, T., Kövér, Á., Balog, R., Hatvani, D., Herczku, P., **Kovács, S. T. S.**, Ricz, S.: A method for intensity calibration of an electron spectrometer with multi-angle detection. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 369, 24-28, 2016. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2015.10.037>
IF: 1.389 (2015)
14. Stolterfoht, N., Herczku, P., Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Rácz, R., Biri, S., Sulik, B.: Long-term stable transmission of 3-keV Ne⁷⁺ ions guided through nanocapillaries in polymers. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 387, 96-102, 2016. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2016.10.010>
IF: 1.389 (2015)
15. Herczku, P., Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Rácz, R., Biri, S., Tóth, J., Sulik, B.: Guiding of Ar⁷⁺ ions through a glass microcapillary array. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 354, 71-74, 2015. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2014.11.004>
IF: 1.389
16. Sarkadi, L., Herczku, P., **Kovács, S. T. S.**, Kövér, Á.: Multiple ionization of rare gases by hydrogen-atom impact. *Phys. Rev. A.* 87 (6), 062705, 2013. ISSN: 1050-2947.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.87.062705>
IF: 2.991
17. Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Rácz, R., Biri, S., Rajta, I., Gál, G. A. B., Szilasi, S. Z., Pálinkás, J., Sulik, B.: Guided transmission of 3keV Ar⁷⁺ ions through dense polycarbonate nanocapillary arrays: Blocking effect and time dependence of the transmitted neutrals. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 279, 177-181, 2012. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2011.10.051>
IF: 1.266

Other journal articles (2)

18. Herczku, P., Juhász, Z., **Kovács, S. T. S.**, Rácz, R., Biri, S., Sulik, B.: Guiding of Ar⁷⁺ ions through a glass microcapillary array. *J. Phys. Conf. Ser.* 488 (13), 132011, 2014. EISSN: 1742-6596.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/488/13/132011>

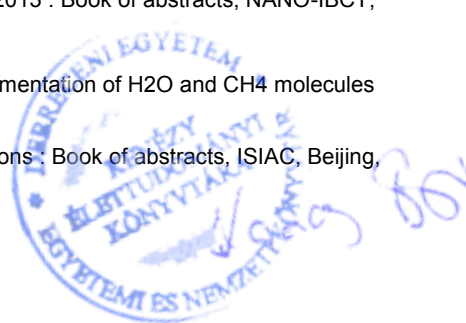




19. Sarkadi, L., Gulyás, L., Herczku, P., **Kovács, S. T. S.**, Kövér, Á.: Single and multiple ionization of rare gases by H⁰ impact.
J. Phys. Conf. Ser. 488 (9), 092002, 2014. EISSN: 1742-6596.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/488/9/092002>

Foreign language abstracts (8)

20. **Kovács, S. T. S.**, Gulyás, L., Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Ionization of N₂ molecules by 1-MeV H⁺ projectile: Search for interference effects in the electron spectra.
In: International Workshop on Photon and fast Ion induced Processes in Atoms, MOlecules and Nanostructures PIPAMON : Program and Abstracts. Eds.: László Kövér, Zoltán Juhász, Erika Bene, Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Science (MTA Atomki), Debrecen, 38, 2015.
21. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Gulyás, L., Juhász, Z., Sulik, B.: Dissociative ionization of CH₄ molecules induced by H⁺ and N⁺ projectiles.
In: 6th Conference on Elementary Processes in Atomic Systems : Contributed paper. Ed.: Štefan Matejčík, Peter Papp, Ondrej Bogár, Comenius University, Bratislava, 208, 2014.
ISBN: 9788081470219
22. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O molecules induced by H⁺ and N⁺ projectiles.
In: Book of Abstracts : 3rd Conference "Radiation Damage of Biomolecular Systems: Nanoscale Insights into Ion-Beam Cancer Therapy" (Nano-IBCT Conference 2014), October 27-31, 2014, Boppard am Rhein, Germany. Ed.: A. V. Solov'yov, Nano-IBCT Conference, Boppard am Rhein, 46, 2014.
23. Juhász, Z., Sulik, B., Lattouf, E., **Kovács, S. T. S.**, Rangama, J., Bene, E., Huber, B., Frémont, F., Méry, A., Pouilly, J. C., Rousseau, P., Herczku, P., Chesnel, J. Y.: A collision process leading to the emission of H⁻ ions from H-containing molecules.
In: Radiation Damage in Biomolecular Systems : Nanoscale Insights into Ion-Beam Cancer Therapy : 2nd NANO-IBCT Conference 2013 Training and Rehabilitation Center Gdansk University of Technology Sopot, Poland 20-24 May, 2013 : Book of abstracts, NANO-IBCT, Sopot, 83, 2013.
24. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O and CH₄ molecules by the impact of 46 keV/u N⁺ and N₂⁺ projectiles.
In: 23rd International Symposium on Ion Atom Collisions : Book of abstracts, ISIAC, Beijing, 46, 2013.





25. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O and CH₄ molecules induced by atomic and molecular nitrogen ion projectiles.
In: Radiation Damage in Biomolecular Systems : Nanoscale Insights into Ion-Beam Cancer Therapy : 2nd NANO-IBCT Conference 2013 Training and Rehabilitation Center Gdansk University of Technology Sopot, Poland 20-24 May, 2013 : Book of abstracts, NANO-IBCT, Sopot, 85, 2013.
26. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Sulik, B.: Fragmentation of H₂O molecules induced by 46 keV/u N⁺ and N²⁺ projectiles.
In: 11th European Conference on Atoms Molecules and Photons : Book of abstracts, ECAMP, Aarhus, 47, 2013.
27. **Kovács, S. T. S.**, Herczku, P., Juhász, Z., Horváth, L. L., Gáll, F., Sulik, B.: A specific beamline at a 5 MV electrostatic accelerator for studying ion-biomolecule collisions in the energy region of the Bragg peak.
In: 5th Conference on Elementary Processes in Atomic Systems : Contributed papers and abstracts of invited lectures. Ed.: Aleksandar R. Milosavljević, Saša Dujko, Bratislav P. Marinković, Institute of Physics, Belgrade, 80, 2011. ISBN: 9788682441328

Total IF of journals (all publications): 16,762

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 8,338

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of Web of Science, Scopus and Journal Citation Report (Impact Factor) databases.

26 April, 2017

